

УДК 617.735-005.98:[616.379-008.64]-085.356:615.835-78

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-4\(62\)-2914-2921](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-4(62)-2914-2921)

**Сакович Василь Микитович** доктор медичних наук, професор, асистент кафедри неврології, нейрохірургії та офтальмології, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, <https://orcid.org/0000-0003-1756-4083>

**Алексєєва Олена Віталіївна** доктор філософії, асистент кафедри неврології, нейрохірургії та офтальмології, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, <https://orcid.org/0000-0002-3106-4539>

## **ЗАСТОСУВАННЯ ГІПЕРБАРИЧНОЇ ОКСИГЕНАЦІЇ ТА АНТИОКСИДАНТНОЇ ТЕРАПІЇ В КОМПЛЕКСНОМУ ЛІКУВАННІ ХВОРИХ З ДІАБЕТИЧНИМ МАКУЛЯРНИМ НАБРЯКОМ**

**Анотація.** Цукровий діабет (ЦД) був і залишається складною медичною та соціальною проблемою. Незважаючи на досягнення сучасної медицини, однією з причин інвалідизації внаслідок уражень зору при цукровому діабеті 2 типу (ЦД2) залишається розвиток діабетичної ретинопатії (ДР). Зниження зорових функцій в більшості випадків пов'язано з розвитком діабетичного макулярного набряку (ДМН). Патологічні зміни, які розвиваються в організмі, призводять до зниження надходження кисню до тканин (гіпоксії), в результаті чого виникають порушення функції та посилення оксидативного стресу (ОС), викликаного надлишком «вільних радикалів», які утворюються безперервно в усьому організмі. ОС відіграє ключову роль у патогенезі мікро- та макросу динних ускладнень ЦД. Гіпоксія сітківки, пов'язана з ЦД, стимулює продукцію VEGF, що сприяє виникненню та прогресуванню ДМН. В корекції та лікуванні цих станів важливу роль відіграє гіпербарична оксигенація (ГБО), що зменшує кисневу недостатність тканин і органів, покращує метаболізм, зменшує або усуває функціональні зрушення, стимулює репаративні процеси, забезпечує необхідний рівень газообміну. Каротиноїди (лютеїн та зеаксантин), вітаміни (С та Е) є ключовими елементами системи захисту органа зору від оксидативного стресу. Вони не виробляються організмом людини, тому можуть бути отримані з продуктів харчування або лікарськими засобами. Активне використання інтравітреальної анти-VEGF терапії, як стандарту лікування, сприяло зменшенню кількості випадків сліпоти та погіршення гостроти зору через ДМН.

В дослідженні прийняли участь 67 пацієнтів (67 очей) із ЦД 2 типу, у яких за результатами офтальмологічного обстеження виявлено помірну НПДР. Усім хворим проведено стандартні офтальмологічні дослідження: візометрію з переносимою корекцією та без, рефрактометрію, тонометрію, біомікроскопію, офтальмоскопію за допомогою безконтактної асферичної лінзи і контактної три

ISSN 2786-4952 Online

дзеркальної лінзи Гольдмана, статичну периметрію Humphrey, гоніоскопію, оптичну когерентну томографію (ОКТ), дослідження очного дна на фундус-камері з фотографуванням.

Комплексний підхід до лікування діабетичного макулярного набряку з застосуванням методу гіпербаричної оксигенації, інтравітреального введення афліберсепта та антиоксидантної терапії достовірно ( $p < 0,05$ ) посприяв покращенню гостроти зору та прискорив резорбцію діабетичного макулярного набряку. Таким чином ми можемо стверджувати, що комплексний метод лікування діабетичного макулярного набряку з застосуванням методу гіпербаричної оксигенації, інтравітреального введення афліберсепта та антиоксидантної терапії показав терапевтичну ефективність.

**Ключові слова:** цукровий діабет, гіпербарична оксигенація, антиоксиданти, лікування.

**Sakovych Vasyl Mykytovych** Doctor of Medical Sciences, Professor, assistant of the Department of Neurology, Neurosurgery and Ophthalmology, Dnipro State Medical University, Dnipro, <https://orcid.org/0000-0003-1756-4083>

**Aleksieieva Olena Vitaliivna** Assistant of the Department of Neurology, Neurosurgery and Ophthalmology, Dnipro State Medical University, Dnipro, <https://orcid.org/0000-0002-3106-4539>

## **USE OF HYPERBARIC OXYGENATION AND ANTIOXIDANT THERAPY IN THE COMPREHENSIVE TREATMENT OF PATIENTS WITH DIABETIC MACULAR EDEMA**

**Abstract.** Diabetes mellitus (DM) has been and remains a complex medical and social problem. Despite the achievements of modern medicine, one of the causes of disability due to visual impairment in type 2 diabetes mellitus (T2DM) remains the development of diabetic retinopathy (DR). Decreased visual function in most cases is associated with the development of diabetic macular edema (DME). Pathological changes that develop in the body lead to a decrease in the supply of oxygen to the tissues (hypoxia), resulting in dysfunction and increased oxidative stress (OS), caused by an excess of “free radicals” that are continuously produced throughout the body. OS plays a key role in the pathogenesis of micro- and macrovascular complications of diabetes. Retinal hypoxia associated with diabetes stimulates the production of VEGF, which contributes to the onset and progression of DME. Hyperbaric oxygenation (HBO) plays an important role in the correction and treatment of these conditions, reducing oxygen deficiency in tissues and organs, improving metabolism, reducing or eliminating functional changes, stimulating reparative processes, and ensuring the necessary level of gas exchange. Carotenoids (lutein and zeaxanthin), vitamins (C and E) are key elements of the system of protection of the organ of vision from oxidative

stress. They are not produced by the human body, therefore they can be obtained from food or medicines. The active use of intravitreal anti-VEGF therapy, as a standard of treatment, has contributed to a decrease in the number of cases of blindness and deterioration of visual acuity due to DME.

The study included 67 patients (67 eyes) with type 2 diabetes mellitus, in whom moderate NPDR was detected according to the results of the ophthalmological examination. All patients underwent standard ophthalmological examinations: visometry with and without portable correction, refractometry, tonometry, biomicroscopy, ophthalmoscopy using a non-contact aspheric lens and a Goldmann three-mirror contact lens, static Humphrey perimetry, gonioscopy, optical coherence tomography (OCT), and fundus examination using a fundus camera with photography.

A comprehensive approach to the treatment of diabetic macular edema using the hyperbaric oxygenation method, intravitreal administration of aflibercept, and antioxidant therapy significantly ( $p < 0.05$ ) contributed to the improvement of visual acuity and accelerated the resorption of diabetic macular edema. Thus, we can state that the comprehensive method of treating diabetic macular edema using the hyperbaric oxygenation method, intravitreal administration of aflibercept, and antioxidant therapy showed therapeutic efficacy.

**Keywords:** diabetes mellitus, hyperbaric oxygenation, antioxidants, treatment

**Постановка проблеми.** Цукровий діабет (ЦД) розглядають як пандемію ХХІ століття, згідно з даними Міжнародної федерації діабету кількість нових випадків постійно збільшується. Діабетичний макулярний набряк (ДМН) може виникнути на будь-якій стадії діабетичної ретинопатії (ДР), являючись основною причиною погіршення центрального зору у пацієнтів з цукровим діабетом [1,2]. За 10-15 років у пацієнтів із ЦД з'являються ознаки діабетичної ретинопатії, а через 25 - 30 років – майже 90 - 95 % матимуть зазначену патологію. Своєчасне виявлення ДМН є надзвичайно важливим заходом, який допоможе попередити втрату зору. Патологічні зміни, які розвиваються в організмі, призводять до зниження надходження кисню до тканин (гіпоксії), в результаті чого виникають порушення функції та посилення оксидативного стресу (ОС), викликаного надлишком «вільних радикалів», які утворюються безперервно в усьому організмі. Розуміння патогенезу, особливостей клінічного перебігу ДМН та ЦД 2 типу мають важливе значення для профілактики ускладнень та розробки нових методів лікування. ОС відіграє ключову роль у патогенезі мікро- та макросудинних ускладнень ЦД. Пов'язана з ЦД гіпоксія сітківки, стимулює продукцію VEGF, які сприяють розвитку та прогресуванню ДМН. На сьогоднішній день анти-VEGF терапія досягла максимуму ефективності, тому що при збільшенні дозування анти-VEGF терапії гострота зору при ДМН не покращується [3]. У патогенезі багатьох офтальмологічних захворювань ключову роль відіграють ішемічні, гемодинамічні зрушення, набряк тканин, що знаходяться у стані оборотного парабіозу. Таким чином можна виділити дві

форми гіпоксії: гемодинамічну, викликану зниженням швидкості тканинного кровотоку та тканинну, пов'язану зі зменшенням ефективної дифузії кисню у тканинах. Незалежно від виду гіпоксії, енергодефіцит та активація вільнорадикальних процесів знаходяться в основі характерних для неї патологічних процесів. Розлади гіпоксичного та вільнорадикального генезу ведуть до деструкції клітин, а припинення доставки кисню викликає зсув окислювально-відновної рівноваги у тканинах. На сьогоднішній день гіпербарична оксигенація один із сучасних та доступних засобів терапії різних видів патології, у виникненні й розвитку яких відіграє певну роль гіпоксія. За даними літератури, в офтальмології ГБО застосовується при гострих та хронічних патологічних станах: гострих порушеннях кровообігу в центральній артерії або центральній вені сітківки, їх гілках; судинній патології зорового нерва, захворюваннях рогівки, зорового нерву, первинній відкритокутовій глаукомі, запальних захворюваннях судинної оболонки, дистрофіях (дегенераціях) сітківки, травмах органу зору, діабетичній ретинопатії та в післяопераційному періоді [4,5].

В сучасному житті на орган зору покладено значний обсяг навантаження: робота за моніторами екологічні проблеми, незбалансоване харчування, стрес, шкідливі звички. Все це прискорює утворення «вільних радикалів», а їх надлишок викликає оксидантний стрес. В організмі людини виробляються ферменти, які захищають від «вільних радикалів» та оксидативного стресу, та надходять з продуктами харчування і препаратами - антиоксиданти. Ці сполуки відносять до «прямих» антиоксидантів за рахунок зменшення кількості вільного кисню в клітині шляхом активації його утилізації, підвищення активності процесів окислення та фосфорилування і здатності відновлювати ліпідні радикали. Каротиноїди (лютеїн та зеаксантин), вітаміни (С та Е) є важливими елементами системи захисту ока від оксидантного пошкодження та є важливими антиоксидантами. Лютеїн і зеаксантин формують так званий макулярний пігмент, який забезпечує гостроту зору та захищає око від шкідливого впливу синьої частини спектра світла [6,7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літератури щодо проблеми розвитку, епідеміології, факторів ризику та профілактики ДР свідчить, що, відбувається глобальне розповсюдження ЦД особливо у високорозвинених країнах; ДР є досить поширеним ускладненням ЦД; ДМН частіше ніж проліферативна діабетична ретинопатія (ПДР) є причиною сліпоти; гіперглікемія є найпоширенішим чинником розвитку ДР при ЦД 1-го типу, що доведено в різних популяціях і дослідженнях; артеріальна гіпертензія (АГ) є фактором ризику ДР при ЦД 2-го типу; скринінг ДР із використанням сучасних технологій (телеофтальмологічних платформ) суттєво покращує її діагностику, але потребує подальшого вдосконалення навіть у високорозвинених країнах [1,2,3].

Вітчизняним науковцем запропоновано новий шлях - комбінація анти-VEGF терапії з гіпербаричною оксигенацією (ГБО), що сприяє зменшенню гіпоксії; підвищує експресію фактора росту ендотелію судин і фактора росту

фібробластів; посилює ангиогенез і проліферацію фібробластів; зменшує набряк тканин і запалення [3]. Гіпербарична оксигенація (ГБО) на сьогоднішній день один із сучасних та доступних засобів терапії різних видів патології, у виникненні й розвитку яких відіграє певну роль гіпоксія. Забезпечує місцевий та системний вплив за рахунок таких ефектів, як: антигіпоксичний, оксидативний, детоксикаційний, фармакодинамічний, імуномодифікуючий, структурно – репаративний (стимулює репаративні процеси, покращує метаболізм), антибактеріальний (антимікробний вплив безпосередньо на анаеробну флору і за рахунок підвищення чутливості патогенної мікрофлори до антибіотиків в умовах гіпероксії), мембрано стабілізуючий [4,5]. За даними літератури інформація про застосування антиоксидантів часто зустрічається з 80-90-х років. Антиоксиданти діють комплексно, використовуючи низку окисно-відновних реакцій. Вітаміни (С та Е) відносять до речовин антирадикального захисту або «прямих» антиоксидантів за рахунок зменшення кількості вільного кисню в клітині шляхом активації його утилізації, підвищення активності процесів окислення та фосфорилування і здатності відновлювати ліпідні радикали. Каротиноїди зеаксантин і лютеїн є активними антиоксидантами, поповнюють так званий макулярний пігмент, який забезпечує гостроту зору та захищає орган зору від шкідливого впливу синьої частини спектра світла [6,7].

**Мета статті** – дослідити терапевтичний ефект застосування гіпербаричної оксигенації та антиоксидантної терапії в комплексному лікуванні хворих з діабетичним макулярним набряком.

**Виклад основного матеріалу.** В дослідженні прийняли участь 67 пацієнтів (67 очей) з них чоловіків 29 (43,3%), жінок 38 (56,7%) із ЦД2 типу, у яких за результатами офтальмологічного обстеження виявлено помірну НПДР. ДМП встановлювали при наявності специфічних змін сітківки в макулярній області: мікроаневризми, геморагії, інтравітракулярних мікросудинних аномалій (ІРМА), твердих ексудатів, ішемії та ДМН [1]. Рівень тяжкості встановлювали відповідно до Міжнародної клінічної шкали тяжкості ДР і ДМП Американської академії офтальмології (2002 р.). Дослідження проведені згідно з письмовою згодою учасників і відповідно до принципів біоетики, викладених у Гельсінській декларації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людей» і «Загальній декларації про біоетику та права людини (ЮНЕСКО)». Пацієнти випадковим чином розділені на 2 клінічні групи, залежно від призначеної схеми лікування. контрольну групу (33 хворих), пацієнти отримували комплексне лікування з застосуванням інтравітракулярного введення афліберсепта і ГБО та основну групу (34 хворих) з додатковим призначенням антиоксидантного препарату по 1 табл. 1 раз на день 3 місяці. Обидві клінічні групи були статистично співставними ( $p > 0,05$ ) за віком, статтю, кількістю та основними клінічними характеристиками пацієнтів. Комплексне лікування хворих контрольної та основної груп складалось: інтравітракулярне введення афліберсепта

ISSN 2786-4952 Online

1 раз на місяць протягом 3 місяців та ГБО до проведення оперативного втручання. Сеанси ГБО проводили в одномісній барокамері БЛКС 301М: кількість сеансів – 10, тривалість сеансу - 45 хв., тиск - 1,5 ата..

В кон'юнктивальний мішок: ципрофлоксацин 0,3% по 1 краплі 4 разів на день, диклофенак по 1 краплі 3 рази на день – 7 днів (післяопераційна терапія).

Всім хворим проведено стандартні офтальмологічні дослідження перед початком лікування та через 3 місяці: візометрію з переносимою корекцією та без, рефрактометрію, тонометрію, біомікроскопію, офтальмоскопію за допомогою безконтактної асферичної лінзи і контактної три дзеркальної лінзи Гольдмана, статичну периметрію Humphrey, гоніоскопію, оптичну когерентну томографію (ОКТ), дослідження очного дна на фундус - камері з фотографуванням.

Провівши порівняльний аналіз показників гостроти зору до початку лікування не виявив статистично значимих відмінностей між групами ( $p > 0,05$ )

Показники гостроти зору під час лікування значно покращились в усіх групах, особливо у пацієнтів основної групи ( $p < 0,05$ ) (табл. 1).

Таблиця 1

Результати гостроти зору у хворих з ДМН до та через три місяці після лікування афліберсептом з гіпербаричною оксигенацією та афліберсептом з гіпербаричною оксигенацією і антиоксидантами

Результати гостроти зору	Контрольна група (33 хворих)		Основна група (34 хворих)	
	До лікування	Через 3 міс.	До лікування	Через 3 міс.
Результати гостроти зору з корекцією	0,1 ± 0,05 (48,5%)	0,3 ± 0,05( 42,4%)	0,1 ± 0,06 (47,1%)	0,5 ± 0,05 (35,3%)
	0,15 ± 0,04 (51,5%)	0,4 ± 0,05 (57,6%)	0,15 ± 0,08 (52,9%)	0,6 ± 0,05 (64,7%)

Провівши порівняльний аналіз показників товщини центральної зони сітківки до початку лікування не виявив статистично значимих відмінностей між групами ( $p > 0,05$ ). У динаміці лікування відбулися достовірні зміни в обох групах, особливо показник резорбції ДМН у пацієнтів основної групи ( $p < 0,05$ ) (табл. 2).

Таблиця 2

Особливості оптичної когерентної томографії у хворих з ДМН до та через три місяці після лікування афліберсептом з гіпербаричною оксигенацією та афліберсептом з гіпербаричною оксигенацією і антиоксидантами

Показники товщини центральної зони сітківки	Контрольна група (33хворих)		Основна група (34 хворих)	
	До лікування	Через 3 міс.	До лікування	Через 3 міс.
Центральна зона сітківки (мкм)	575,27 ± 4,15	388,49 ± 7,29	568,52 ± 5,63	307 ± 9,35

**Висновки:** комплексний підхід до лікування діабетичного макулярного набряку з застосуванням методу гіпербаричної оксигенації та антиоксидантної терапії достовірно ( $p < 0,05$ ) посприяв покращенню гостроти зору та прискорив резорбцію діабетичного макулярного набряку. Таким чином ми можемо стверджувати, що комплексний метод лікування діабетичного макулярного набряку з застосуванням методу гіпербаричної оксигенації, інтравітреального введення афліберсепта та антиоксидантної терапії показав терапевтичну ефективність.

#### Література:

1. Могілевський, С. Ю. Прогнозування ризику діабетичного макулярного набряку при діабетичній ретинопатії у хворих на цукровий діабет 2 типу / С. Ю. Могілевський, Ю. О Панченко, С. В. Зябліцев // Український офтальмологічний журнал. – 2019. - №3. – С. 3–8. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31288/oftalmolzh2019338>
2. Сук С. А. Особливості розвитку і клінічного перебігу діабетичного макулярного набряку легкого ступеня тяжкості при цукровому діабеті 2 типу / С. А. Сук // Медична наука України. – 2024. - № 20 (3) . – С. 34–43. – Режим доступу: <http://ir.librarynmu.com/handle/123456789/15618>
3. Дроздов В.О. Оптимізація діагностики та лікування діабетичного макулярного набряку за непроліферативної діабетичної ретинопатії: дис. на здобуття наук. ступеня доктора філософії: Дроздов Володимир Олексійович. - Дніпро: ДДМУ, 2022 р. – 275 с.
4. Чуєв П. М. Гіпербароокситерапія: навч. посіб. / П. М. Чуєв. — Одеса: ОДМУ, 1999. — 187 с.
5. Shinomiya N. Molecular mechanisms of hyperbaric oxygen therapy. Hyperbaric Oxygenation Therapy: Molecular Mechanisms and Clinical Applications. - 2020.- 3-20
6. Aruoma O. I. Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1998. - №75(2). – pp. 199–212. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0032-9>
7. Sies H., Stahl W., & Sundquist A. R. Antioxidant functions of vitamins. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids. Annals of the New York Academy of Sciences 1992. – 669. – pp.7–20. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1992.tb17085.x>

**References:**

1. Mogilevskyi S.Yu., Panchenko Yu.O., Ziablitsev S.V. (2019). Prohnozuvannia ryzyku diabetychnoho maculiarnoho nabriaku pry diabetychnii retynopatii u hvorych na tsukrovyyi diabet 2 typu. [Predicting the risk of diabetic retinopathy-associated macular edema in patients with type 2 diabetes mellitus]. *Ukrainskyi oftalmolohichnyi zhurnal - Ukrainian Journal of Ophthalmology*, 3, 3–8. Retrieved from <https://doi.org/10.31288/oftalmolzh2019338> [in Ukrainian].
2. Suk, S. A. (2024). Osoblyvosti rozvytku i klinichnoho perebihu diabetychnoho maculiarnoho nabriaku lehkoho stupenia tiazhkosti pry tsukrovomu diabeti 2 typu [Features of the development and clinical course of mild diabetic macular edema in type 2 diabetes]. *Medychna nauka Ukrainy - Medical science of Ukraine*, 20 (3), 34-43. Retrieved from <http://ir.librarynmu.com/handle/123456789/15618> [in Ukrainian].
3. Drozdov V.O. (2022). Optymizatsiia diagnostyky ta likuvannia diabetychnoho maculiarnoho nabriaku za neproliferatyvnoi diabetychnoi retynopatii [Optimization of diagnosis and treatment of patients with diabetic macular edema and nonproliferative diabetic retinopathy]. *Candidate's thesis*. Dnipro: DSMU [in Ukrainian].
4. Chuiev, P.M. (1999). *Hiperbarooksyterapiia [Hyperbarooxytherapy]*. Odesa: ODMU [in Ukrainian].
5. Shinomiya, N. (2020). Molecular mechanisms of hyperbaric oxygen therapy. *Hyperbaric Oxygenation Therapy: Molecular Mechanisms and Clinical Applications*, 3-20
6. Aruoma O. I. (1998). Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(2), 199–212. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0032-9>
7. Sies, H., Stahl, W., & Sundquist, A. R. (1992). Antioxidant functions of vitamins. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 669, 7–20. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1992.tb17085.x>

Дата першого надходження статті до видання: 02.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.04.2026